



→ 104774 R

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 100 60 108 A 1

⑯ Int. Cl. 7:  
G 05 F 1/67  
H 02 N 6/00

DE 100 60 108 A 1

⑯ Aktenzeichen: 100 60 108.1  
⑯ Anmeldetag: 27. 11. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 27. 6. 2002

⑯ Anmelder:  
Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, DE

⑯ Erfinder:  
Bechler, Dirk, Dipl.-Ing., 01129 Dresden, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

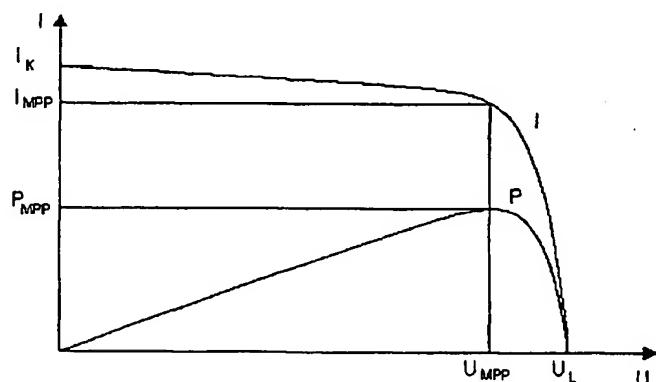
⑯ Verfahren zur Einstellung des Punktes maximaler Leistung eines Solargenerators einer photovoltaischen Solaranlage

⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung des Punktes maximaler Leistung eines Solargenerators einer photovoltaischen Solaranlage durch Messung der Generatorgrößen Ausgangsstrom, Ausgangsspannung und Temperatur und numerischer Bestimmung der Spannung oder des Stromes im MPP auf Grundlage einer vorgegebenen Strom-Spannungs-Beziehung nach der Gleichung

$$I = I_{ph} - I_s \cdot \left( \exp\left(\frac{U + I \cdot R_s}{c \cdot T}\right) - 1 \right) - \frac{U + I \cdot R_s}{R_p}$$

gekennzeichnet durch die Schritte,

- Ermittlung der Parameter des Solargenerators durch einmaliges Durchlaufen der gesamten Strom-Spannungs-Kennlinie des Solargenerators und Speicherung der Meßwerte von Strom (I) und Spannung (U) bei gleichzeitiger Messung und Speicherung der Temperatur (T),
- Berechnung der Parameter des Solargenerators aus der Strom-Spannungs-Beziehung,
- Berechnung des Punktes maximaler Leistung (MPP) mit den Werten  $U_{MPP}$ ,  $I_{MPP}$  und  $P_{MPP}$  aus einem Meßwert-Triple, bestehend aus I, U und T, mit der genannten Strom-Spannungs-Beziehung,
- und Einstellen des MPP durch Vorgabe des Sollwertes für Spannung oder Strom an einen Regler, der auf den Ausgang eines Solargenerators einer photovoltaischen Solaranlage einwirkt.



DE 100 60 108 A 1

# DE 100 60 108 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung des Punktes maximaler Leistung eines Solargenerators einer photovoltaischen Solaranlage durch Messung der Generatorgrößen Ausgangsstrom, Ausgangsspannung und Temperatur und numerischer Bestimmung der Spannung oder des Stromes im MPP auf Grundlage einer vorgegebenen Strom-Spannungs-Beziehung.

[0002] Ein Solargenerator stellt eine elektrische Energiequelle mit arbeitspunktabhängigem Innenwiderstand dar, der eine Verringerung der Ausgangsspannung bei zunehmendem Ausgangsstrom bewirkt. Dies führt zur in Fig. 2 dargestellten Strom-Spannungs-Kennlinie. Diese ist durch drei Punkte gekennzeichnet. Der Schnittpunkt der I-U-Kennlinie mit der U-Achse ( $I = 0$ ) ist die Leerlaufspannung  $U_L$ , der Schnittpunkt mit der I-Achse ( $U = 0$ ) ist der Kurzschlußstrom  $I_K$ . Dazwischen befindet sich der Punkt maximaler Leistung MPP mit den Werten MPP-Spannung  $U_{MPP}$ , MPP-Strom  $I_{MPP}$  und MPP-Leistung  $P_{MPP}$ . Im Sinne einer vollständigen Ausnutzung der vom Solargenerator erzeugten Elektroenergie besteht das Ziel darin, den Generator permanent in diesem optimalen Arbeitspunkt zu betreiben. Dies wird dadurch erschwert, daß die I-U-Kennlinie nicht konstant ist, sondern sich entsprechend der Umgebungsbedingungen Einstrahlung  $E$  und Temperatur  $T$  ändert. Der Generatorausgangsstrom ist einstrahlungsabhängig. Die Spannung bleibt bei Änderung der Einstrahlung dagegen nahezu unverändert (Fig. 3). Sie ist allerdings stark temperaturabhängig (Fig. 4). Die Veränderung der Kennlinie hat auch eine Verschiebung des MPP zur Folge. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, durch eine Regelung die Ausgangsspannung des Solargenerators der MPP-Spannung nachzuführen, um immer die maximale Leistung entnehmen zu können.

[0003] Aus der DE 40 19 710 A1 ist bekannt, daß zur Ermittlung des Punktes maximaler Leistung eine künstlich vom Regler verursachte Suchbewegung benutzt wird, in deren Folge ein permanentes Pendeln um den stationären MPP auftritt, das zu einem Energieverlust führt, der bis zu 10% betragen kann.

[0004] Weiterhin ist aus der DE 195 02 762 C2 bekannt, daß zur Ermittlung des MPP dieser zum Messen von Kurzschlußstrom und Leerlaufspannung periodisch verlassen wird, woraus ebenfalls eine Energieeinbuße resultiert.

[0005] Die genannten Nachteile lassen sich mit Verfahren nach DE 43 24 701 C1 und DE 44 46 627 A1 vermeiden. Diese sind jedoch aufgrund der Notwendigkeit des Vorhandenseins von Welligkeiten in den Generatorausgangsgrößen  $u_{SG}$  und  $i_{SG}$  in ihrer Anwendbarkeit eingeschränkt auf Systeme, die derartige Welligkeiten verursachen, wie beispielsweise Anlagen mit netzgeführten oder einphasigen Wechselrichtern.

[0006] Ausgehend von diesem Stand der Technik besteht die Aufgabe der Erfindung in der Bereitstellung eines Verfahrens, das auf der Basis eines stationären Ausgabewertes den Punkt maximaler Leistung ohne Abweichung einstellt, unverzögert auf Änderungen der Umgebungsbedingungen (d. h. vor allem der Einstrahlung) reagiert und universell einsetzbar ist.

[0007] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Varianten des Verfahrens sind Gegenstand von Unteransprüchen.

[0008] Die Erfindung wird an nachstehendem Ausführungsbeispiel näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

[0009] Fig. 1 ein Ersatzschaltbild für einen Solargenerator

[0010] Fig. 2 eine I-U-Kennlinie und eine P-U-Kennlinie eines Solargenerators

[0011] Fig. 3 ein Diagramm der Einstrahlabhängigkeit der I-U-Kennlinie des Solargenerators

[0012] Fig. 4 ein Diagramm der Temperaturabhängigkeit der I-U-Kennlinie des Solargenerators

[0013] Dem Verfahren liegt die bekannte aus Fig. 1 folgende Strom-Spannungs-Beziehung nach Gleichung (1) zu grunde.

$$I = I_{ph} - I_s \cdot \left( \exp\left(\frac{U + I \cdot R_s}{c \cdot T}\right) - 1 \right) - \frac{U + I \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

[0014] Dabei bedeuten:  
 $I$ : Solargeneratotausgangsstrom,  
 $I_{ph}$ : Photostrom,  
 $I_s$ : Diodensättigungsstrom,  
 $U$ : Solargeneratotausgangsspannung,  
 $R_s$ : Serien-Ersatzwiderstand,  
 $c$ : Konstante,  
 $T$ : Temperatur,  
 $R_p$ : Parallel-Ersatzwiderstand.

[0015] Das Verfahren wird in folgenden Teilschritten durchgeführt:

- Nach einmaligem Durchlaufen der gesamten Strom-Spannungs-Kennlinie des Solargenerators und Speicherung der Meßwerte von Strom ( $I$ ) und Spannung ( $U$ ) bei gleichzeitiger Messung und Speicherung der Temperatur ( $T$ ) erfolgt eine
- Berechnung der Parameter  $I_{ph}$ ,  $I_s$ ,  $R_s$ ,  $c$  und  $R_p$  des Solargenerators aus der I-U-Beziehung gemäß Gleichung (1).
- Danach wird die Berechnung des Punktes maximaler Leistung (MPP) mit den Werten  $U_{MPP}$ ,  $I_{MPP}$  und  $P_{MPP}$  aus einem Meßwert-Tripel ( $I$ ,  $U$ ,  $T$ ) mit der I-U-Beziehung gemäß Gleichung (1) unter Einsetzen der in Schritt a) ermittelten Parameter durchgeführt und es erfolgt die
- Einstellung des MPP durch Vorgabe des Sollwertes für Spannung oder Strom.

[0016] Schritte a) und b) werden periodisch (z. B. einmal täglich) durchgeführt. Schritte c) und d) wiederholen sich kontinuierlich während der Arbeit des Reglers. Die Parameteridentifikation (Schritt b) als ein nichtlineares Quadratmit-

# DE 100 60 108 A 1

telproblem wird iterativ (z. B. durch das Gauß-Newton-Verfahren) gelöst.

[0017] Die drei Parameter  $R_s$ ,  $R_p$  und  $c$  können als konstante Größen betrachtet werden. Der ermittelte Wert für den temperaturabhängigen Diodensättigungsstrom dient der Ermittlung der Materialkonstanten  $c_s$  nach Gleichung (2).

$$I_s(T) = c_s \cdot T^3 \cdot \exp\left(\frac{-E_g(T)}{k \cdot T}\right) \quad (2)$$

[0018] Darin bedeuten:

$E_g$ : Bandabstand,

$k$ : Boltzmannkonstante.

[0019] Der Photostrom wird nur zur Bestimmung der anderen Parameter benötigt.

[0020] In Schritt c) werden kontinuierlich Strom, Spannung und Temperatur am Generator gemessen. Aus der gemessenen Temperatur wird der aktuelle Sättigungsstrom aus Gleichung (2) unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit des Bandabstandes  $E_g$  berechnet. Anschließend erfolgt die Ermittlung des Photostromes durch Umstellen der Gleichung (1) nach  $I_{ph}$ . Damit ist die aktuelle Kennlinie  $I = f(U)$  bekannt. Die Multiplikation mit der Spannung führt zur Beziehung  $P = g(U, I)$  nach Gleichung (3):

$$P(U, I) = U \cdot I_{ph} - U \cdot I_s \cdot \left( \exp\left(\frac{U + I \cdot R_s}{c \cdot T}\right) - 1 \right) - U \cdot \frac{U + I \cdot R_s}{R_p} \quad (3)$$

[0021] Die maximale Leistung und der dazugehörige Wert für Spannung oder Strom werden numerisch ermittelt. In einem hinreichend großen Fenster um den MPP wird für infinitesimal wachsende Werte von  $U_i$  oder  $I_i$  die Gleichung (3) gelöst. Dabei lautet das Abbruchkriterium  $P_i < P_{i-1}$ . Der zugehörige Wert  $U_{i-1}$  oder  $I_{i-1}$  ist die gesuchte MPP-Spannung oder der gesuchte MPP-Strom und wird als Sollwert an den Regler übergeben.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Einstellung des Punktes maximaler Leistung eines Solargenerators einer photovoltaischen Solaranlage durch Messung der Generatorgrößen Ausgangsstrom, Ausgangsspannung und Temperatur und numerischer Bestimmung der Spannung oder des Stromes im MPP auf Grundlage einer vorgegebenen Strom-Spannungs-Beziehung nach der Gleichung

$$I = I_{ph} - I_s \cdot \left( \exp\left(\frac{U + I \cdot R_s}{c \cdot T}\right) - 1 \right) - \frac{U + I \cdot R_s}{R_p}$$

gekennzeichnet durch die Schritte,

- Ermittlung der Parameter des Solargenerators durch einmaliges Durchlaufen der gesamten Strom-Spannungs-Kennlinie des Solargenerators und Speicherung der Meßwerte von Strom ( $I$ ) und Spannung (13) bei gleichzeitiger Messung und Speicherung der Temperatur ( $T$ ).
- Berechnung der Parameter des Solargenerators aus der Strom-Spannungs-Beziehung,
- Berechnung des Punktes maximaler Leistung (MPP) mit den Werten  $U_{MPP}$ ,  $I_{MPP}$  und  $P_{MPP}$  aus einem Meßwert-Tripel, bestehend aus  $I$ ,  $U$ , und  $T$ , mit der genannten Strom-Spannungs-Beziehung.
- Einstellen des MPP durch Vorgabe des Sollwertes für Spannung oder Strom an einen Regler, der auf den Ausgang eines Solargenerators einer photovoltaischen Solaranlage einwirkt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine periodische Wiederholung des Durchlaufens der gesamten Strom-Spannungs-Kennlinie und Überschreiben der gespeicherten Meßwerte von Strom ( $I$ ), Spannung ( $U$ ) und Temperatur ( $T$ ).

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine kontinuierliche Wiederholung der Berechnung des Punktes maximaler Leistung (MPP) während der Arbeit eines Reglers.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, gekennzeichnet durch eine Parameteridentifizierung als nichtlineares Quadratmittelproblem mittels des Gauß-Newton-Verfahrens.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

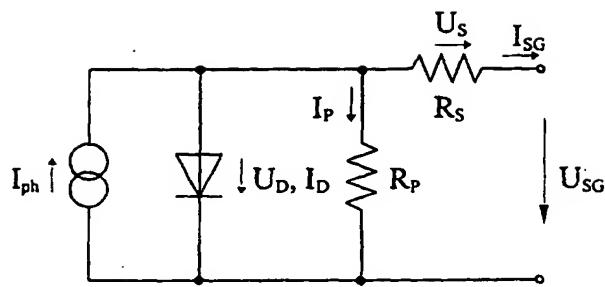


Fig. 1: Ersatzschaltbild für einen Solargenerator

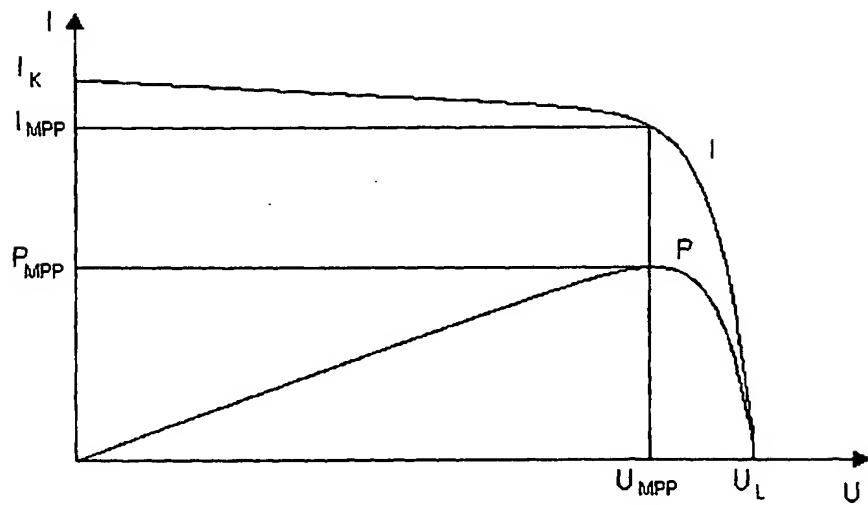


Fig. 2: I-U-Kennlinie und P-U-Kennlinie eines Solargenerators

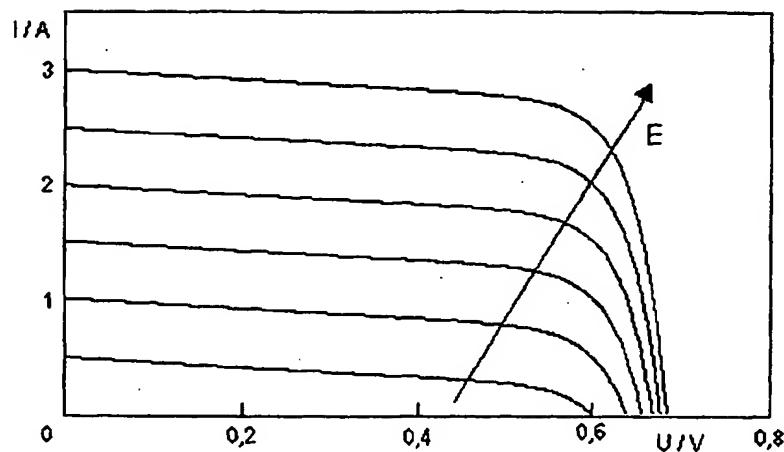


Fig. 3: Einstrahlungsabhängigkeit der I-U-Kennlinie des Solargenerators

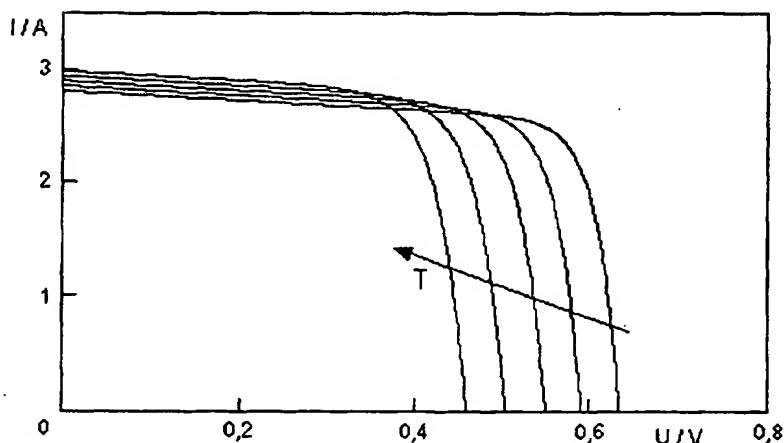


Fig. 4: Temperaturabhängigkeit der I-U-Kennlinie des Solargenerators